

**PCT** WELTORGANISATION FÜR  
Internationales  
ANMELDUNG VERÖFFENTLICHUNG  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AU



(51) Internationale Patentklassifikation 6 :

B21D 22/16

A1

(1)

WO 9602336A1

(4)

Veröffentlichungsdatum:

1. Februar 1996 (01.02.96)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP95/02223

(22) Internationales Anmeldedatum:

9. Juni 1995 (09.06.95)

(30) Prioritätsdaten:

P 44 25 033.9

15. Juli 1994 (15.07.94)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG  
DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE];  
Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZABOKLICKI, Adam, K.  
[DE/DE]; Kruppstrasse 18, D-52072 Aachen (DE).(74) Anwälte: KLITZSCH, Gottfried usw.; Maximilianstrasse 58,  
D-80538 München (DE).(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,  
CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,  
SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: METHOD AND DEVICE OF SHAPING WORKPIECES BY COMPRESSION

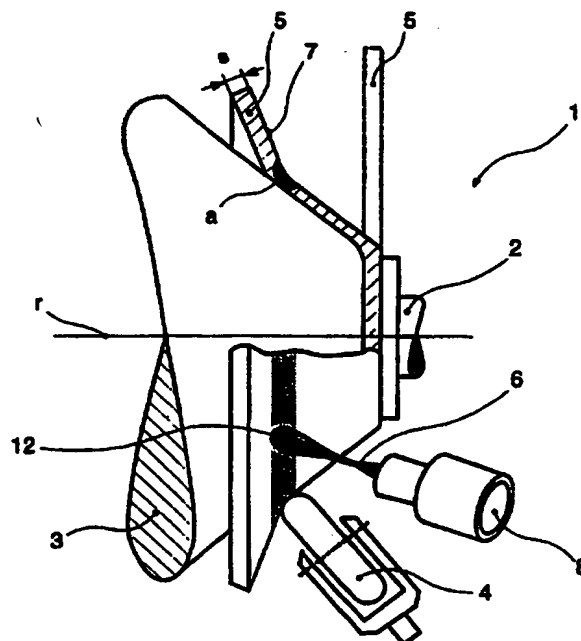
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM DRÜCKUMFORMEN VON WERKSTÜCKEN

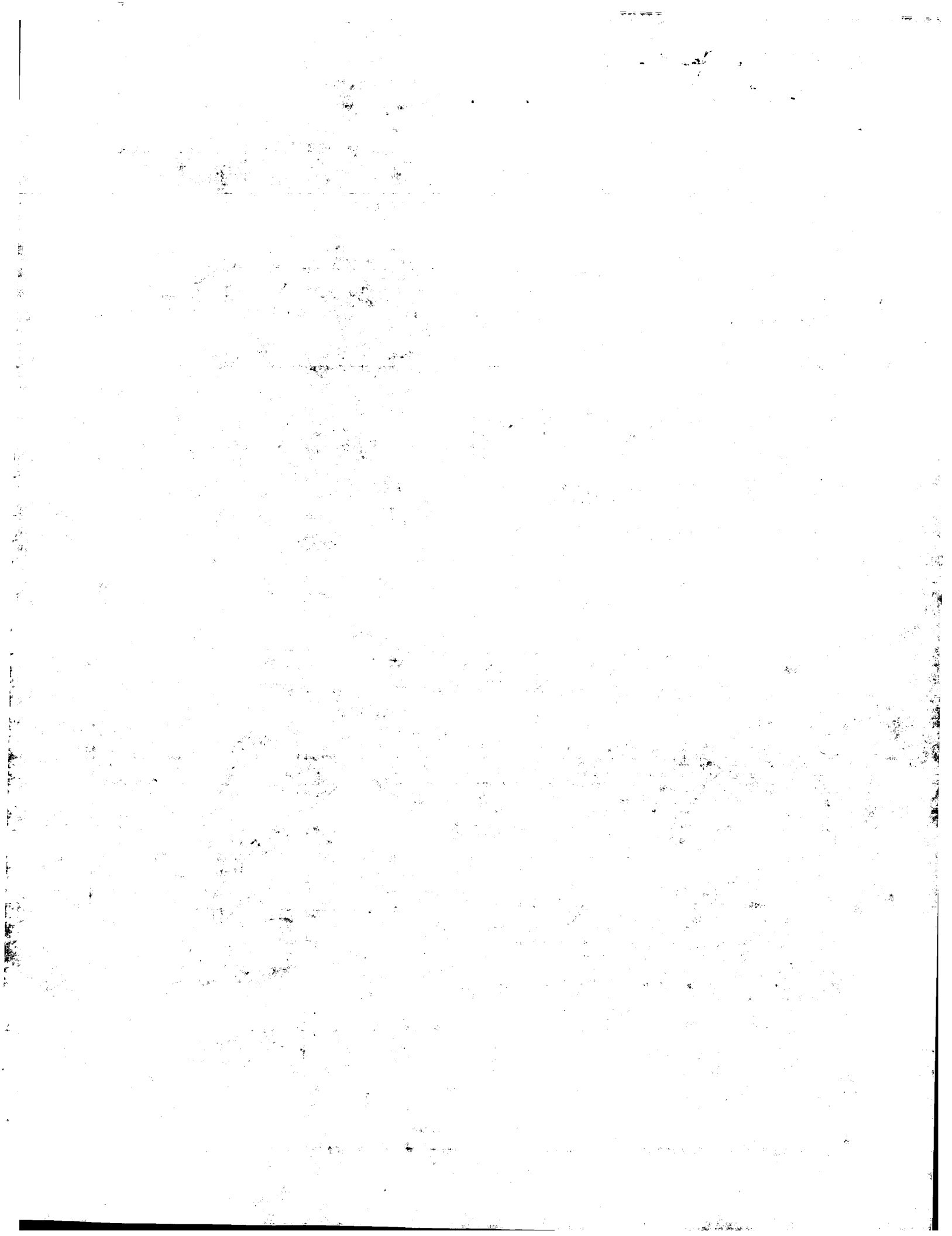
(57) Abstract

The invention concerns a method of shaping workpieces by compression, in particular pressing, cylinder press rolling and projection press rolling, and a device for carrying out this method. A workpiece (5) is clamped in a clamping device (23), rotated, and shaped by at least one pressure tool (4). In particular, a laser beam arrangement (8) is provided by means of which a laser beam (6) acts on the workpiece which is heated in order to decrease the yield stress and improve the deformability and so that a heat treatment can be carried out.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Zylinderdruckwalzen und Projizierdruckwalzen von Werkstücken sowie eine Vorrichtung hierfür, wobei ein Werkstück (5) in einer Spanneinrichtung (23) eingespannt und rotiert und durch zumindest ein Druckwerkzeug (4) umgeformt wird. Insbesondere ist eine Laserstrahleinrichtung (8) vorgesehen, durch die das Werkstück mit einem Laserstrahl (6) beaufschlagt und erwärmt wird, um die Fließspannung zu senken und das Formänderungsvermögen zu verbessern, sowie eine Wärmebehandlung durchzuführen.







①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 25 033 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 21 D 22/14**  
B 23 K 26/00

②1 Aktenzeichen: P 44 25 033.9  
②2 Anmeldetag: 15. 7. 94  
④3 Offenlegungstag: 18. 1. 96

DE 44 25 033 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:  
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
Anwaltssozietät, 80538 München

⑦2 Erfinder:  
Zaboklicki, Adam K., 52072 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Drückumformen von Werkstücken

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Zylinderdruckwalzen und Projizierdruckwalzen von Werkstücken sowie eine Vorrichtung hierfür, wobei ein Werkstück in einer Spanneinrichtung eingespannt und rotiert und durch zumindest ein Druckwerkzeug umgeformt wird. Insbesondere ist eine Laserstrahleinrichtung vorgesehen, durch die das Werkstück mit einem Laserstrahl beaufschlagt und erwärmt wird, um die Fließspannung zu senken und das Formänderungsvermögen zu verbessern, sowie eine Wärmebehandlung durchzuführen.

DE 44 25 033 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdruckwalzen oder Zylinderdruckwalzen von Werkstücken mit zumindest einem Drückwerkzeug, wobei das Werkstück vor, während und/oder nach einem Umformschritt wärmebehandelt wird. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdruckwalzen und Zylinderdruckwalzen von Werkstücken mit einer Spanneinrichtung und zumindest einem Drückwerkzeug.

Herkömmliche Drückumformverfahren, wie zum Beispiel Drücken, Projizierdruckwalzen oder Zylinderdruckwalzen werden vielfach über ihren normalen Anwendungsbereich, nämlich Mittel- und Großserienfertigung hinaus auch für geringe Stückzahlen und Prototypenfertigung im Maschinen- und Anlagenbau, der Kraftfahrzeugtechnik sowie der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt, da die Drückwerkzeuge größtenteils nicht an die Geometrie der Werkstücke gebunden sind, woraus eine hohe Wirtschaftlichkeit und Flexibilität dieser Verfahren resultiert.

Die erreichbaren Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten bei den Drückumformverfahren sind jedoch durch die Werkstoffeigenschaften Formänderungsvermögen und Neigung zur Kaltverfestigung begrenzt. Da mit zunehmendem Umformgrad im allgemeinen die Kaltverfestigung zunimmt, ist die obere Grenze des Gesamtreduktionsgrades auch bei einer Aufteilung der Umformaufgabe in Einzelschritte hauptsächlich vom Formänderungsvermögen des Werkstoffs abhängig.

Zur notwendigen Wanddickenreduktion bei schwer umformbaren Werkstoffen sind herkömmlich teure Drückvorrichtungen mit hohen Vorschubkräften und hohen Spindeldrehmomenten erforderlich.

Um auch bei Werkstoffen mit niedrigem Formänderungsvermögen, wie zum Beispiel Aluminium-Magnesium-Legierungen, Titan-Legierungen oder Edelstahlblechen, hinreichende Umformgrade realisieren zu können, werden diese im allgemeinen warm umgeformt und in einigen Fällen stufenweise mit Zwischenglühen (Rekristallisationsglühen) umgeformt, um die entstandene Kaltverfestigung abzubauen.

Hierfür ist es bereits bekannt, das Werkstück vor, während oder nach einem Drückumformen zu erwärmen (EP 0 451 268 A1, DE 28 51 620 A1, EP 0 530 383 A1, DE-OS 21 48 519). Das Werkstück wird dabei entweder durch Induktoren (DE 28 51 620 A1, EP 0 530 383 A1, DE-OS 21 48 519) oder durch offene Flamme mit einem Gasbrenner (EP 0 451 268 A1) erwärmt. Hierdurch kann allerdings die Wärmebehandlung nur langsam und nur relativ unpräzise sowie unflexibel erfolgen. Überdies sind weiter negative Effekte, wie Verzundern der Werkstückoberfläche zu beobachten. Es ist daher in nicht ausreichendem Maße möglich, das Drückumformen des Werkstücks durch eine gezielte und örtliche Beeinflussung der Materialeigenschaften zu unterstützen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Drückumformen von Werkstücken anzugeben, das bzw. die bei hoher Flexibilität durch eine gezielte und präzise zeitliche und lokale Beeinflussung des Materials hohe Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten gestattet.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des eingangs genannten Verfahrens erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß

das Werkstück durch zumindest eine Laserstrahleinrichtung erwärmt wird.

Auf diese Weise ist es auch bei komplizierten Werkstückgeometrien möglich, durch eine örtlich eng begrenzte Erwärmung die Fließspannung des Werkstücks gezielt zu senken und auch bei zunehmendem Umformgrad den Anstieg der Fließspannung niedrig zu halten. Insbesondere von Vorteil ist dabei die extrem schnelle Aufheizung des Werkstücks aufgrund der hohen und präzis definierten Energiedichte des Laserstrahls in einem präzise definierten Bereich, infolgedessen die Wärmebelastung des gesamten Werkstücks gering bleibt. Dies gestattet eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit bei sehr guter Bearbeitungsqualität mit nur geringem Verzug trotz hoher Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird dabei das Werkstück von einem durch die Laserstrahleinrichtung erzeugten Laserstrahl auf einer äußeren Mantelfläche beaufschlagt, die einem Drückfutter, auf das das Werkstück gedrückt wird, abgewandt ist. Dadurch kann eine präzise lokale Erwärmung des Werkstücks von seiner Rückseite her in den Bereichen hohen Umformgrades erfolgen, so daß der Umformwiderstand verringert und höhere Umformgrade erzielt werden können.

Vorteilhafterweise wird eine Oberflächentemperatur des Werkstücks erfaßt, auf der Grundlage derer eine Umformtemperatur des Werkstücks geregelt werden kann. Eine derartige Regelung der Umformtemperatur erlaubt verschiedene Formen der Wärmebehandlung vor, während oder nach dem Umformen des Werkstücks, wie zum Beispiel ein Spannungsfreiglühen, Weichglühen oder Rekristallisationsglühen exakt in dem jeweils dazu notwendigen Temperaturbereich durchzuführen, und das Maß der Verminderung der Umformfestigkeit gezielt zu steuern.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird dabei zur Regelung der Umformtemperatur die erfaßte Oberflächentemperatur mit einer Soll-Temperatur, die auf Werkstoff und Umformprozeß abgestimmt wird, verglichen und die Laserstrahleinrichtung auf der Grundlage dieses Soll-/Istwertvergleichs durch eine Regeleinrichtung angesteuert. Dadurch ist die Umformtemperatur flexibel auf unterschiedliche Materialien wie Qualitätsstahl, Titan-, Aluminium- oder Nickellegierungen, oder auch Chrom-Nickel-Stähle anzupassen und präzise zu regeln.

In vorteilhafter Weise erfolgt die Regelung der Umformtemperatur durch Einstellung von Betriebsparametern der Laserstrahleinrichtung, insbesondere der Laserintensität und der Laserleistung, da diese einfach durch die an die Laserstrahleinrichtung angelegte Spannung geregelt werden kann.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Laserstrahl durch eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung unter der Steuerung einer Steuerungseinheit über das Werkstück führbar, wobei die Position und die Geometrie eines Laserbrennflecks auf dem Werkstück in Abhängigkeit des Soll-/Istwertvergleichs durch die Regeleinrichtung geregelt und eingestellt wird. Die Energiebeaufschlagung durch den Laserstrahl wird dabei nicht nur durch ein Verändern der Laserleistung, sondern auch durch ein Verändern der Position und der Geometrie des Laserbrennflecks gesteuert, wobei die Laserleistung und die Position und Geometrie des Laserstrahls gegenseitig aufeinander abgestimmt werden. Dadurch ist eine hohe Flexibilität bei der Regelung der Energiebeaufschla-

gung gegeben. Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht auch darin, daß der Laserstrahl oszillierend mit variabler Amplitude und Frequenz über das Werkstück geführt wird. Dadurch kann die Energiebeaufschlagung des zu erwärmenden Bereiches durch den Laserstrahl sehr differenziert erfolgen und die Temperaturverteilung und die Größe des durch den Laserstrahl beaufschlagten Bereiches des Werkstücks individuell angepaßt und geregelt werden. Der zu erwärmende Bereich ist deshalb über die Geometrie des Laserbrennflecks hinaus genau einstellbar.

Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung wird der Laserstrahl kontinuierlich über das Werkstück geführt, wodurch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung und die zugehörige Steuerungseinheit sehr einfach und demzufolge auch billig sein kann.

In vorteilhafter Weise wird dabei der Laserstrahl der Bewegung des Drückwerkzeugs folgend über das Werkstück geführt. Ein Laserbearbeitungskopf der Laserstrahleinrichtung ist dabei an die Bewegungsachsen des Drückwerkzeugs angekoppelt, wodurch der Laserstrahl stets den umzuformenden Bereich beaufschlagt und erwärmt. Ebenso ist es dadurch aufgrund der kontinuierlichen Bewegung des Drückwerkzeugs möglich, den Bereich des Werkstücks, der vor bzw. hinter der Umformbearbeitungszone liegt, durch den Laserstrahl zu beaufschlagen, um eine Wärmebehandlung des Werkstücks nicht nur während sondern auch vor bzw. nach der Umformbearbeitung durchzuführen.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ist dadurch gegeben, daß der Laserstrahl frei beweglich über das Werkstück geführt wird. Der Laserstrahl ist dabei durch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung relativ gegenüber dem Drückwerkzeug und dem Werkstück um mindestens vier Achsen beweglich. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch einen hohen Freiheitsgrad in der Wärmebeaufschlagung des Werkstücks aus, wodurch eine Festigkeitsreduzierung bzw. ein Spannungsfreiglühen oder Rekristallisationsglühen unabhängig von der Bewegung des Drückwerkzeugs an jeder beliebigen Stelle des Werkstücks ausführbar ist.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Laserstrahl durch das Drückwerkzeug auf das Werkstück geführt. Dies gestattet es in sehr einfacher Weise, die Umformzone des Werkstücks durch den Laserstrahl zu erwärmen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht auch darin, daß das Werkstück durch einen ersten und einen zweiten Laserstrahl beaufschlagt wird. Durch die Verwendung von zwei Laserstrahlen kann das Werkstück an zwei Stellen gleichzeitig erwärmt werden, so daß zwei Wärmebehandlungsschritte parallel durchgeführt werden können. Die Parallelschaltung der Bearbeitungsschritte reduziert die insgesamt Fertigungszeit und senkt demzufolge die Herstellungskosten.

In vorteilhafter Weise erwärmt dabei der erste Laserstrahl die Umformzone, vorzugsweise durch das Drückwerkzeug hindurch, während der zweite Laserstrahl den umgeformten Bereich des Werkstücks erwärmt. Neben der Reduzierung der Umformfestigkeit in der Umformzone wird das Werkstück im umgeformten Bereich gleichzeitig einem Spannungsfreiglühen oder Rekristallisationsglühen unterzogen. Die Umformung des Werkstücks ist dadurch besonders wirtschaftlich.

Hinsichtlich der vorgenannten Vorrichtung zum Drückumformen wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zumindest eine Laserstrahleinrichtung zur Beaufschlagung des Werkstücks mit einem La-

serstrahl vorgesehen ist.

Durch diese erfindungsgemäße Vorrichtung lassen sich lokal und zeitlich sehr genau steuerbar die Eigenschaften des Materials des umzuformenden Werkstücks gezielt ändern, wodurch das Werkstück mit hohen Umformgraden und mit hoher Geschwindigkeit umzuformen ist. Die Verwendung einer Laserstrahleinrichtung ist besonders vorteilhaft, da dies zu einem kleinen Bauvolumen der Umformvorrichtung beiträgt. Zum einen ist die Drückvorrichtung aufgrund der geringeren Umformkräfte infolge der Laserstrahlerwärmung klein und leicht und zum anderen ist der Platzbedarf für den Laserstrahl sehr gering.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist dadurch gegeben, daß eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung zur Führung des Laserstrahls und Formung eines Laserbrennflecks auf der Oberfläche des Werkstücks vorgesehen ist. Das Werkstück kann deshalb an beliebigen, jeweils erforderlichen Stellen wärmebeaufschlagt werden, wodurch die Änderung der Materialeigenschaften an die Fertigungsaufgabe anpaßbar ist. Darüber hinaus kann der Laserbrennfleck auf der Oberfläche des Werkstücks variabel zu einem Kreis, einer Ellipse oder auch einem Rechteck geformt werden, so daß die Energiedichte und die Aufheizrate bei der Einbringung der Energie auf die Werkstückoberfläche gezielt zu steuern sind.

Zur höheren Automatisierbarkeit, besseren Regelung und Steuerbarkeit und einer guten steuerungstechnischen Verbindung der Laserstrahleinrichtung mit der Umformvorrichtung ist vorzugsweise eine Steuerungseinheit zur Steuerung der Strahlführungs- und -formungseinrichtung vorgesehen. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist darüber hinaus eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung der Oberflächentemperatur des Werkstücks vorgesehen. Damit läßt sich erkennen und abschätzen, ob eine Bearbeitungstemperatur des Werkstücks in einem erwünschten Bereich für die jeweilige Wärmebehandlung wie Lösungs- bzw. Spannungsfreiglühen und Rekristallisationsglühen liegt.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht auch darin, daß eine Regeleinrichtung zur Regelung der Bearbeitungstemperatur des Werkstücks vorgesehen ist, wobei die Regeleinrichtung zumindest eine Speichereinheit zur Speicherung von Werkstoffdaten und Prozeßparametern, insbesondere einer Soll-Temperatur für das Werkstück aufweist und mit der Erfassungseinrichtung zum Vergleichen der erfaßten Oberflächentemperatur und der Soll-Temperatur verbunden ist. Dadurch ist die Umformvorrichtung in hohem Grade automatisiert an die Bearbeitungsaufgabe, insbesondere das Werkstückmaterial anpaßbar. Die Regeleinrichtung regelt die Bearbeitungstemperatur des Werkstücks auf der Grundlage des Soll-/Istwertvergleichs exakt in einem gewünschten Temperaturintervall.

Nach einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Regeleinrichtung mit der Laserstrahleinrichtung und der Steuerungseinheit zur Einstellung von Betriebsparametern, insbesondere der Laserleistung und der Strahlgeometrie verbunden. Eine Regelung der Laserleistung läßt sich sehr einfach durch ein Verändern der an die Laserstrahleinrichtung angelegten Spannung regeln, wobei die Regelung der Laserleistung die Energiebeaufschlagung der Werkstückoberfläche und dadurch den Grad der Werkstückerwärmung effizient beeinflußt. Die Einstellung der Strahlgeometrie, insbesondere der Geometrie des Laserbrennflecks auf der Werkstückoberfläche läßt darüber hinaus eine wei-

tere Differenzierung der Wärmebeaufschlagung zu.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Laserstrahleinrichtung starr mit dem Drückwerkzeug verbunden und gekoppelt an die Bewegungsachsen des Drückwerkzeugs bewegbar. Dies gewährleistet es, ohne komplizierte steuerungstechnische Einrichtungen den Laserstrahl in der jeweiligen Umformbearbeitungszone oder auch in einem Bereich, der vor oder hinter der Umformbearbeitungszone liegt, die durch die jeweilige Position des Drückwerkzeugs gegeben sind, über das Werkzeug zu führen. Die Vorrichtung ist dadurch einfach, robust und insbesondere kostengünstig.

Eine günstige Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist auch dadurch gegeben, daß die Laserstrahleinrichtung oder zumindest ein durch die Laserstrahleinrichtung erzeugter Laserstrahl durch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung frei bewegbar, insbesondere mit variabler Amplitude und Frequenz oszillierend bewegbar ist. Die Wärmebeaufschlagung des Werkstücks kann dadurch unabhängig und während der Bearbeitung variabel an beliebigen, jeweils notwendigen Positionen des Werkstücks erfolgen. Darüber hinaus läßt sich in dem zu erwärmenden Bereich des Werkstücks eine individuelle Temperaturverteilung unabhängig von der Geometrie des Laserbrennflecks erzielen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist auch dadurch gegeben, daß eine erste und eine zweite Laserstrahleinrichtung zur Beaufschlagung des Werkstücks mit einem ersten und einem zweiten Laserstrahl vorgesehen sind. Dadurch kann das Werkstück an verschiedenen Stellen gleichzeitig wärmebehandelt werden. Mehrere Wärmebehandlungsschritte sind zeitgleich durchführbar, wodurch die Umformung des Werkstücks kostengünstig und wirtschaftlich ist.

In vorteilhafter Weise ist die erste und/oder zweite Laserstrahleinrichtung starr mit dem Drückwerkzeug verbunden und mit diesem bewegbar. Dadurch ist insbesondere die Umformzone des Werkstücks durch den ersten Laserstrahl zur Reduzierung der Umformfestigkeit in einfacher Weise erwärmbar.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist auch dadurch gegeben, daß die zweite und/oder die erste Laserstrahleinrichtung oder zumindest der durch die zweite und/oder erste Laserstrahleinrichtung erzeugte zweite und/oder erste Laserstrahl frei bewegbar ist. Das Werkstück kann dadurch an beliebigen, jeweils notwendigen Positionen unabhängig und während der Bearbeitung variabel erwärmt werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für das laserunterstützte Projizierdrückwalzen in einer Seitenansicht nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Vorrichtung nach dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 in einer Frontansicht;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Vorrichtung nach dem Ausführungsbeispiel der vorhergehenden Figuren in einem Halbschnitt während des Umformvorganges;

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Vorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel der vorhergehenden Figuren in einem Halbschnitt vor dem Umformvorgang;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für das laserunterstützte Projizierdrückwalzen

nach einem zweiten Ausführungsbeispiel mit zwei Laserstrahleinrichtungen in einem Halbschnitt;

Fig. 6 eine schematische Darstellung der Vorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 bis 4 in einem Halbschnitt während einer Wärmebehandlung nach einem erfolgten Umformvorgang, wobei eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung in verschiedenen Positionen gezeigt ist.

Fig. 7 eine schematische Darstellung der Steuerung und Regelung der Vorrichtung nach dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 bis 4;

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Zylinderdrückwalzen nach dem Gleichlaufverfahren gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für das Zylinderdrückwalzen nach dem Gegenlaufverfahren nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 10 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Drücken nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, wobei das Werkstück und ein Drückwerkzeug in verschiedenen Umformschritten dargestellt sind;

Fig. 11 ein Diagramm des funktionalen Zusammenhangs zwischen Umformgrad und Fließspannung in Abhängigkeit der Temperatur für den Werkstoff X 5 CrNi 18 9.

Fig. 1 und 2 zeigen das Umformen eines Werkstücks 5, nämlich einer Blechrunde durch eine Vorrichtung für das laserunterstützte Projizierdrückwalzen.

Durch das Projizierdrückwalzen wird ein rotations-symmetrischer Hohlkörper mit kegelter, konkaver oder konvexer Form oder einer Kombination aus diesen Geometrien hergestellt. Bei der Umformung wird die Wandstärke  $s$  des Werkstücks 5 so reduziert, daß jedes Volumenelement des Werkstücks 5 parallel zu einer Rotationsachse  $r$  verschoben wird. Das Werkstück 5 kann dabei aus nahezu allen bildsamen Werkstoffen sein, wie zum Beispiel unlegierte und niedrig legierte Kohlenstoffstähle, rost- und säurebeständige Stähle, Leichtmetalle, insbesondere Aluminium oder Aluminiumlegierungen mit Mangan, Magnesium, Silizium oder Titan, Titanlegierungen sowie NE-Schwermetalle oder Edelmetalle.

Das Werkstück 5 ist in einer Spanneinrichtung, die aus einem kegelförmigen Drückfutter 3 sowie einem Gegenhalter 2 besteht, eingespannt, wobei Drückfutter und Gegenhalter zusammen mit dem Werkstück 5 um die Rotationsachse  $r$  während des Projizierdrückwalzprozesses gedreht werden.

Einer Mantelfläche des Drückfutters 3 gegenüberliegend angeordnet ist ein Drückwerkzeug 4, das eine Drückrolle aufweist, welche parallel in einem entsprechenden Abstand zur Kontur des Drückfutters 3 verfahrbar ist.

Das Drückwerkzeug 4 ist ebenfalls zumindest entlang einer dazu senkrechten Achse verfahrbar, um unterschiedliche Wandstärken des Werkstücks 5 zu erzeugen oder um an unterschiedliche Drückfutter angepaßt werden zu können.

Um das Werkstück 5 während des Drückumformens partiell erwärmen zu können, ist eine Laserstrahleinrichtung 8 vorgesehen, die mit einem Laserstrahl 6 eine äußere Mantelfläche 7 des Werkstücks 5 beaufschlagt. Dadurch kommt es in einer vom Laserstrahl beaufschlagten Zone  $a$ , wie am besten in Fig. 2 und Fig. 3 zu sehen ist, zu einer lokal begrenzten Erwärmung und

damit zu einer Senkung der Fließspannung des Werkstücks 5 und auch zu einer Verbesserung des Formänderungsvermögens des Werkstücks 5. Wie in Fig. 11 gezeigt, führt bei einem Werkstück aus dem Werkstoff X 5 CrNi 18 9 eine Erwärmung von Raumtemperatur auf 700° in etwa zu einer Halbierung der Fließspannung.

Der Laserstrahl 6 wird dabei derart geführt, daß ein Laserbrennfleck 12 auf der Oberfläche 7 des Werkstücks 5 der jeweiligen Bearbeitungszone durch das Drückwerkzeug 4 vorauseilt, d. h., daß jeweils der Bereich des Werkstücks 5, der durch Rotation um die Rotationsachse  $r$  zur Umformung mit dem Drückwerkzeug 4 in Berührung kommt, erwärmt wird.

Wie später beschrieben werden wird, ist jedoch auch eine andere Führung des Laserstrahls 6 zur Beaufschlagung des Werkstücks 5 möglich.

Wie insbesondere aus Fig. 6 und 7 ersichtlich ist, ist zur Laserstrahlerwärmung des Werkstücks 5 und Führung des Laserstrahls 6 eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 vorgesehen, die entkoppelt von dem Drückwerkzeug 4 angebracht ist und den Laserstrahl um mindestens vier Achsen schwenk- und verschiebbar führt. Dadurch kann unabhängig von der Position des Drückwerkzeugs 4 jeder beliebige, notwendige Bereich des Werkstücks 5 wärmebeaufschlagt werden, wodurch nicht nur parallel zum Drückumformvorgang die Umformfestigkeit des Werkstücks 5 reduziert werden kann, sondern auch im Anschluß an den Umformungsvorgang ein Spannungsfreiglühen oder Rekristallisationsglühen erfolgen kann.

Abweichend davon ist es jedoch ebenfalls möglich, die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 gekoppelt an das Drückwerkzeug 4 zu befestigen, so daß die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 und der Laserstrahl 6 stationär und kontinuierlich entsprechend der Bewegung des Drückwerkzeugs 4 über das Werkstück 5 geführt wird. Dies macht die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 und die zugehörige Steuerung sehr einfach und kostengünstig.

Die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 lenkt den Laserstrahl 6 nicht nur in eine gewünschte Richtung ab, sondern formt auch die Geometrie des Laserbrennflecks 12 auf der Oberfläche 7 des Werkstücks 5. Der Laserbrennfleck 12 wird, angepaßt an die Bearbeitungsaufgabe, vorzugsweise in Form eines Kreises, einer Ellipse oder eines Rechtecks ausgebildet.

In Fig. 5 ist eine Ausführungsform der Erfindung gezeigt, bei der nicht nur eine, sondern zwei Laserstrahl-einrichtungen vorgesehen sind. Neben einer ersten Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10, die den Laserstrahl 6 über das Werkstück 5 führt, um den Umformbereich a des Werkstücks 5 zu erwärmen, beaufschlagt die zweite Laserstrahl-einrichtung mit einem Laserstrahl 6', der durch eine zweite Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10' gesteuert wird, einen zweiten Bereich b des Werkstücks 5, der durch das Drückwerkzeug 4 bereits umgeformt wurde. Parallel zur Festigkeitsreduzierung des Werkstücks 5 in der Umformzone a wird das Werkstück 5 in dem zweiten Bereich b wärmebehandelt, insbesondere spannungsfreigeglüht oder einem Rekristallisationsglühen unterzogen. Diese Parallelschaltung der Bearbeitungsvorgänge sorgt für eine wirtschaftliche Fertigung mit kurzen Maschinenzeiten und dementsprechend niedrigen Kosten.

Im folgenden soll mit Bezug auf Fig. 7 die Steuerung der Drückvorrichtung in Verbindung mit der Laserstrahl-einrichtung beschrieben werden.

Zur Erfassung einer Oberflächentemperatur  $v$  ist eine

Erfassungseinrichtung 13 vorgesehen, die einen Temperatursensor 14 sowie eine damit verbundene Signalverarbeitungseinheit 15 umfaßt. Auf der Grundlage der Oberflächentemperatur  $v$  regelt eine Regeleinrichtung 9 die Bearbeitungstemperatur des Werkstücks 5, insbesondere die Oberflächentemperatur. Dazu weist die Regeleinrichtung 9 eine Speichereinheit auf, in der für unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben und unterschiedliche Werkstoffe eine Soll-Temperatur  $v_{\text{soll}}$  abgespeichert ist, die in der Regeleinrichtung 9 mit der erfaßten Oberflächentemperatur  $v$  verglichen wird. Die Regeleinrichtung 9 ist mit der Laserstrahl-einrichtung 8 verbunden, um in Abhängigkeit des Ergebnisses des Soll-/Istwertvergleichs zwischen der Oberflächentemperatur  $v$  und der Soll-Temperatur  $v_{\text{soll}}$  insbesondere die Laserleistung der Laserstrahl-einrichtung 8 zu regeln. Dabei wird in einfacher Weise die an die Laserstrahl-einrichtung 8 angelegte Spannung  $U$  entsprechend verändert. Dadurch wird sowohl die Energiedichte, mit der das Werkstück 5 beaufschlagt wird, die bis zu  $10^8$  Watt/cm<sup>2</sup> beträgt, als auch die Aufheizrate, die bis zu maximal  $10^5$  K/s beträgt, geregelt, so daß die Bearbeitungstemperatur des Werkstücks im erwärmten Bereich sehr exakt innerhalb des für die jeweilige Wärmebehandlung wie Festigkeitsreduzierung oder Spannungsarmglühen notwendigen Temperaturintervalls gehalten wird. Dabei ermöglichen es im Speziellen die hohe Energiedichte und hohe Aufheizrate bei der Laserstrahlbeaufschlagung, das Werkstück sehr lokal und zeitlich begrenzt aufzuheizen, so daß es zu einer nur geringen Wärmebelastung des gesamten Bauteils kommt, wodurch nur ein geringer Verzug bei der Bearbeitung auftritt.

Darüber hinaus ist die Regeleinrichtung 9 mit einer CNC-Steuereinrichtung 11 operativ verbunden, die neben der Position und dem Vorschub des Drückwerkzeugs 4 und der Drehgeschwindigkeit des Drückfutters 3 mit der daran befestigten Blechrolle 5 die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 steuert, die den Laserstrahl 6 entweder kontinuierlich, stationär oder frei beweglich, insbesondere oszillierend mit variabler Amplitude und Frequenz über das Werkstück 5 führt.

Die operative Verbindung zwischen der Regeleinrichtung 9 und der CNC-Steuereinrichtung 11 gestattet es dabei, die Leistung der Laserstrahl-einrichtung 8 und die von der CNC-Steuerungseinheit gesteuerten Positions-, Vorschubs- und Bewegungsgrößen des Drückwerkzeugs 4 mit der zugehörigen Werkstückspanneinrichtung 2, 3 und der Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 aufeinander abgestimmt zu steuern, um eine für die Bearbeitungsaufgabe optimale Wärmebeaufschlagung des Werkstücks 5 zu erzielen.

Die Erfindung wurde vorstehend anhand eines Ausführungsbeispiels für Projizierdrückwalzen beschrieben. Das laserunterstützte Drückumformen ermöglicht jedoch auch bei einem Drücken oder einem Zylinderdrückwalzen durch eine gezielte, lokal und zeitlich eng begrenzte Eigenschaftsänderung des Materials höhere Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten.

Fig. 8 und Fig. 9 zeigen jeweils eine Vorrichtung zum Zylinderdrückwalzen eines Werkstücks 5, das auf ein zylindrisches Drückfutter 3 aufgespannt ist. Das Werkstück 5, das in seiner Ausgangsform eine innenzylindrische Büchse oder ein Napf ist, wird ebenfalls unter einer Rotationsbewegung durch ein Drückwerkzeug 4 umgeformt, wobei das Werkstück 5 entweder durch einen Gegenhalter 2 eingespannt und durch das sich vom Gegenhalter 2 wegbewegende Drückwerkzeug 4 (Gleichlaufverfahren, Fig. 8) oder an einen von dem Drückfut-

ter 3 radial vorspringenden Anschlag gedrückt und durch das sich auf den Anschlag 16 zubewegende Drückwerkzeug 4 umgeformt wird (Gegenlaufverfahren, Fig. 9).

Wie in den Fig. 8 und 9 dargestellt, erfolgt eine Wärmebeaufschlagung des Werkstücks 5 in zu dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel analoger Weise. Der Laserstrahl 6 wird dabei derart geführt, daß ein Laserbrennfleck 12 auf der Werkstückoberfläche im Bereich der Umformzone a liegt und diese erwärmt.

Fig. 10 zeigt eine Vorrichtung zum Drücken eines Werkstücks 5, das in seiner Ausgangsform als Blechrolle zwischen einem Drückfutter 3 und einem Gegenhalter 2 eingespannt ist. Das Werkstück 5 wird durch ein Drückwerkzeug 4 meist stufenweise bis zur Erreichung der Endform und im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Drückumformverfahren ohne Querschnittsänderung umgeformt. Die Umformung erfolgt lediglich örtlich im Sinne einer Richtungsänderung, wobei die Blechdicke nicht verändert wird.

Eine Wärmebeaufschlagung durch eine Laserstrahl-einrichtung erfolgt ebenfalls in zu dem Ausführungsbeispiel für das Projizierdrückwalzen analoger Weise. Ein Laserbrennfleck 12 auf der Werkstückoberfläche liegt insbesondere im Bereich der Umformzone a, die erwärmt wird.

Durch die Kombination einer Drückvorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 für das Projizierdrückwalzen oder gemäß Fig. 8 oder 9 für das Zylinderdrückwalzen oder gemäß Fig. 10 für das Drücken mit einer lokal eng begrenzten Erwärmung des Werkstücks an der Rückseite durch einen Laserstrahl werden die durch das Drückumformen erreichbaren Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten für eine Vielzahl von Umformwerkstoffen wesentlich erhöht bei einer gleichzeitig sehr guten Bearbeitungsqualität. Dabei ist insbesondere die hohe Flexibilität und die gute Kombinierbarkeit des laserunterstützten Drückumformens mit anderen Verfahren von Vorteil.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdrückwalzen oder Zylinderdrückwalzen von Werkstücken mit zumindest einem Drückwerkzeug, wobei das Werkstück vor, während und/oder nach einem Umformschritt wärmebehandelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Werkstück (5) durch zumindest eine Laserstrahl-einrichtung (8) erwärmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (5) von einem durch die Laserstrahl-einrichtung (8) erzeugten Laserstrahl (6) auf einer äußeren Mantelfläche (7) beaufschlagt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Oberflächentemperatur ( $v$ ) des Werkstücks (5) erfaßt wird und eine Umformtemperatur des Werkstücks (5) durch eine Regeleinrichtung (9) auf der Grundlage der erfaßten Oberflächentemperatur ( $v$ ) geregelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Regelung der Umformtemperatur die erfaßte Oberflächentemperatur ( $v$ ) mit einer Solltemperatur ( $v_{\text{Soll}}$ ), die auf Werkstoff und Umformprozeß abgestimmt wird, verglichen wird und auf der Grundlage des Soll-/Istwertvergleichs die Laserstrahl-einrichtung (8) durch die Regeleinrichtung (9) angesteuert wird.

tung (9) angesteuert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Regeleinrichtung (9) Betriebsparameter der Laserstrahl-einrichtung (8), insbesondere die Laserleistung und Laserintensität, eingestellt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) durch eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) unter der Steuerung einer Steuerungseinheit (11) über das Werkstück (5) geführt und die Position und die Geometrie eines Laserbrennflecks (12) auf dem Werkstück (5) in Abhängigkeit des Soll-/Istwertvergleichs durch die Regeleinrichtung (9) geregelt wird.

7. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) oszillierend mit variabler Amplitude und Frequenz über das Werkstück (5) geführt wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) kontinuierlich über das Werkstück (5) geführt wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) der Bewegung des Drückwerkzeugs (4) folgend über das Werkstück (5) geführt wird.

10. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) frei beweglich über das Werkstück (5) geführt wird.

11. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) durch das Drückwerkzeug (4) auf das Werkstück (5) geführt wird.

12. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (5) durch einen ersten und einen zweiten Laserstrahl (6, 6') beaufschlagt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Laserstrahl (6) die Umformzone (a) vorzugsweise durch das Drückwerkzeug (4) hindurch erwärmt, während der zweite Laserstrahl (6') den umgeformten Bereich (b) des Werkstücks (5) erwärmt.

14. Vorrichtung zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdrückwalzen und Zylinderdrückwalzen von Werkstücken mit einer Spanneinrichtung und zumindest einem Drückwerkzeug, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Laserstrahl-einrichtung (8) zur Beaufschlagung des Werkstücks (5) mit einem Laserstrahl (6) vorgesehen ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) zur Führung des Laserstrahls (6) und Formung eines Laserbrennflecks (12) auf der Oberfläche (7) des Werkstücks (5) vorgesehen ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß eine Steuerungseinheit (11) zur Steuerung der Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) vorgesehen ist.

17. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine Erfassungseinrichtung (13) zur Erfassung der Oberflächentemperatur ( $v$ ) des Werkstücks (5) vorgesehen ist.



hen ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine Regeleinrichtung (9) zur Regelung einer Umformtemperatur des Werkstücks (5) vorgesehen ist, wobei die Regeleinrichtung (9) zumindest eine Speichereinheit zur Speicherung von Werkstoffdaten und Prozeßparametern, insbesondere einer Solltemperatur ( $v_{soll}$ ) für das Werkstück (5) aufweist und mit der Erfassungseinrichtung (13) zum Vergleichen der erfaßten Oberflächentemperatur ( $v$ ) und der Soll-Temperatur ( $v_{soll}$ ) verbunden ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Regeleinrichtung (9) zur Einstellung von Betriebsparametern, insbesondere der Laserleistung (P) und der Strahlgeometrie, mit der Laserstrahleinrichtung (8) und der Steuerungseinheit (11) verbunden ist.

20. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahleinrichtung (8) starr mit dem Drückwerkzeug (4) verbunden und mit diesem bewegbar ist.

21. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahleinrichtung (8) oder zumindest ein durch die Laserstrahleinrichtung (8) erzeugter Laserstrahl (6) durch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) frei bewegbar, insbesondere mit variabler Amplitude und Frequenz oszillierend bewegbar ist.

22. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß eine erste und eine zweite Laserstrahleinrichtung (8, 8') zur Beaufschlagung des Werkstücks (5) mit einem ersten und einem zweiten Laserstrahl (6, 6') vorgesehen sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite Laserstrahleinrichtung (8, 8') starr mit dem Drückwerkzeug (4) verbunden und mit diesem bewegbar ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite und/oder erste Laserstrahleinrichtung (8', 8) oder zumindest der durch die zweite und/oder erste Laserstrahleinrichtung erzeugte zweite und/oder erste Laserstrahl (6', 6) frei bewegbar ist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

- Leerseite -

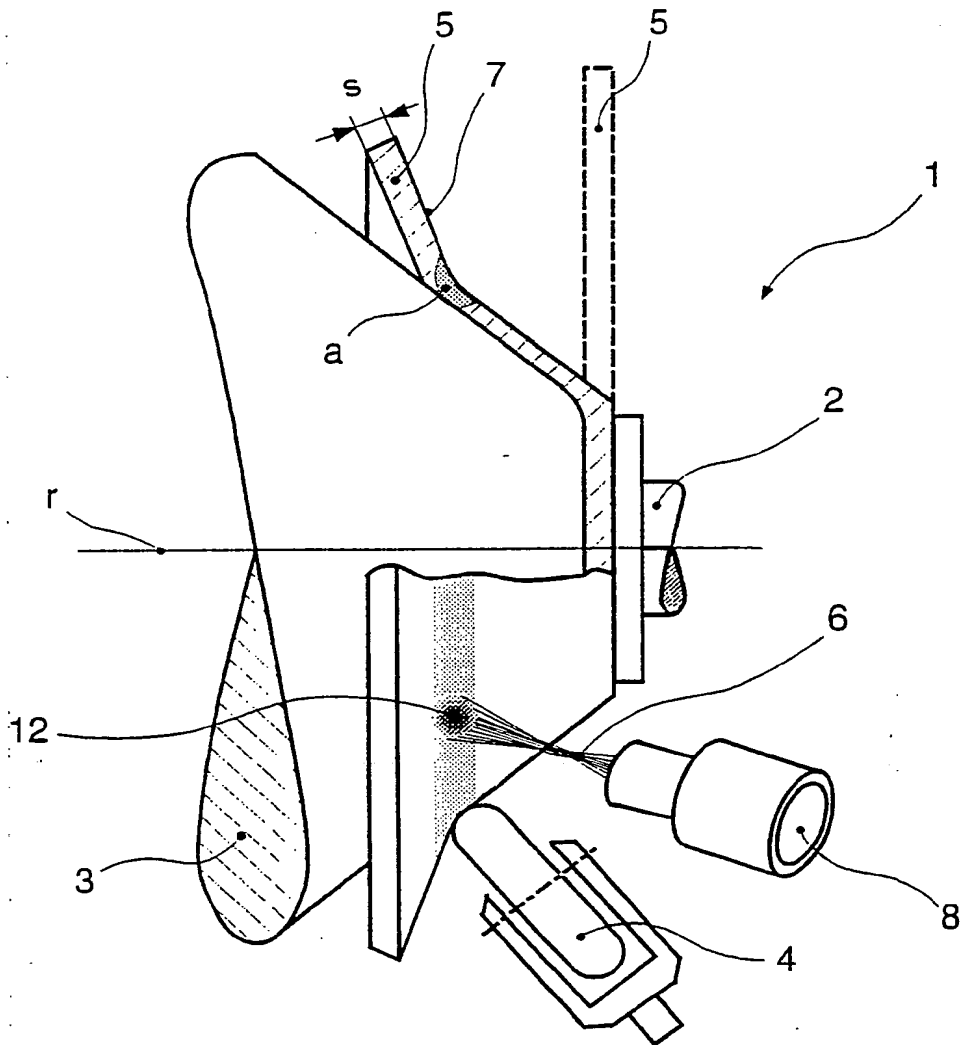


Fig. 1

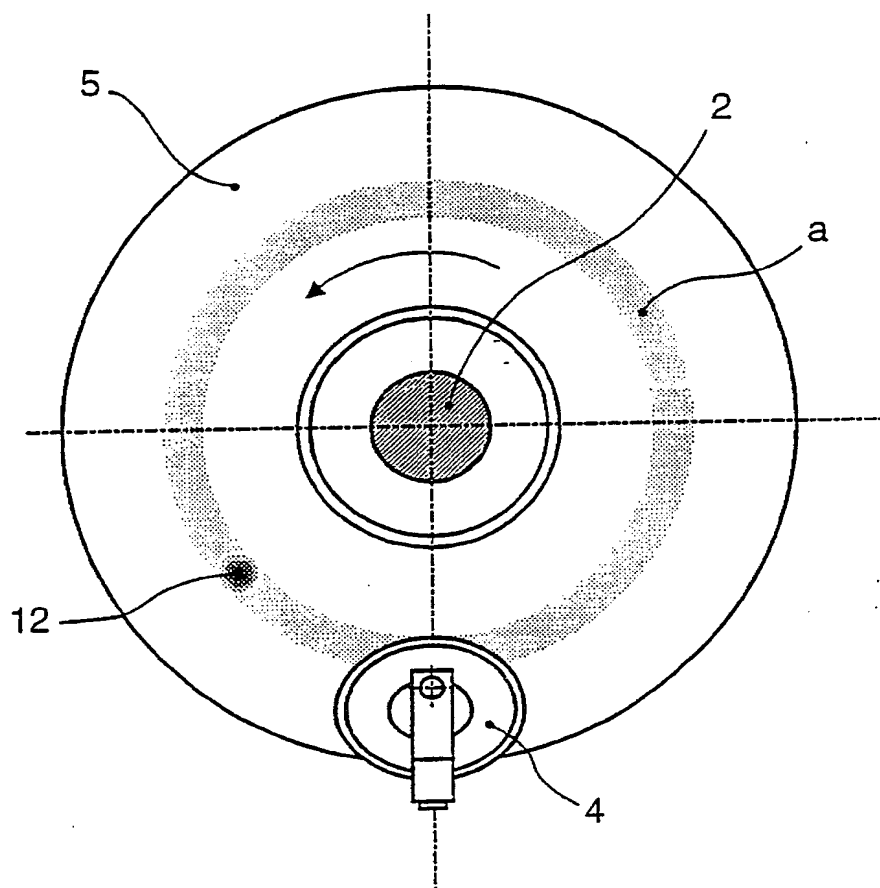


Fig. 2

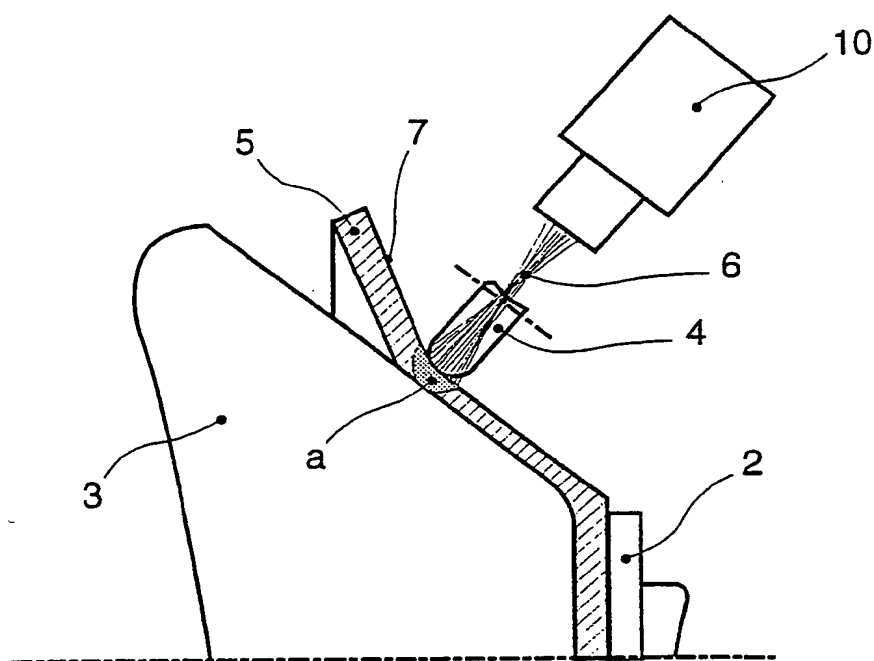


Fig. 3

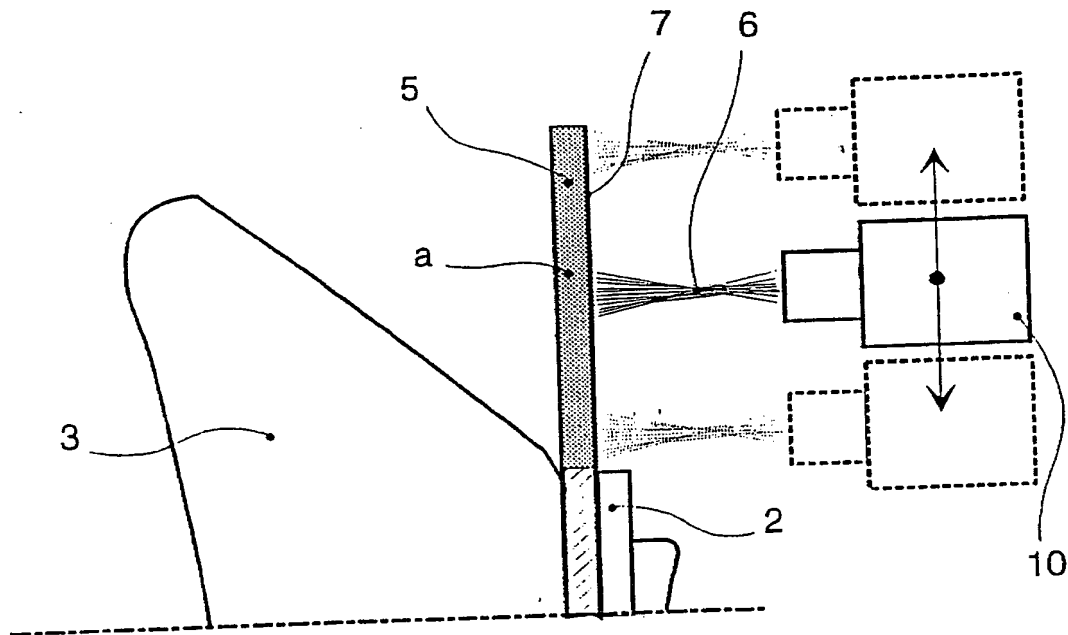


Fig. 4

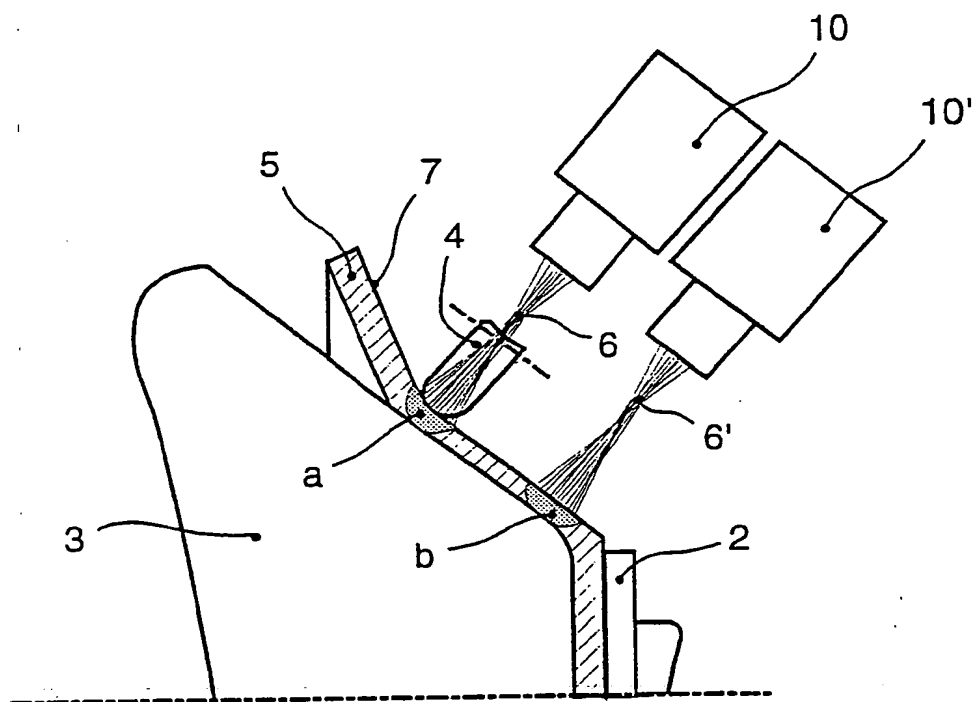


Fig. 5

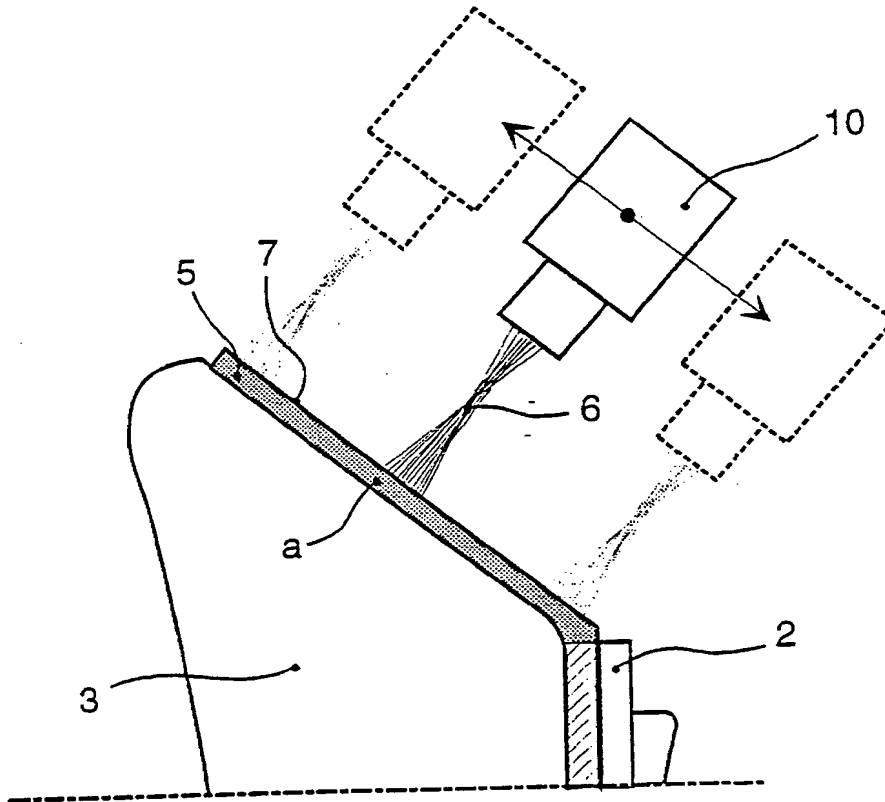


Fig. 6



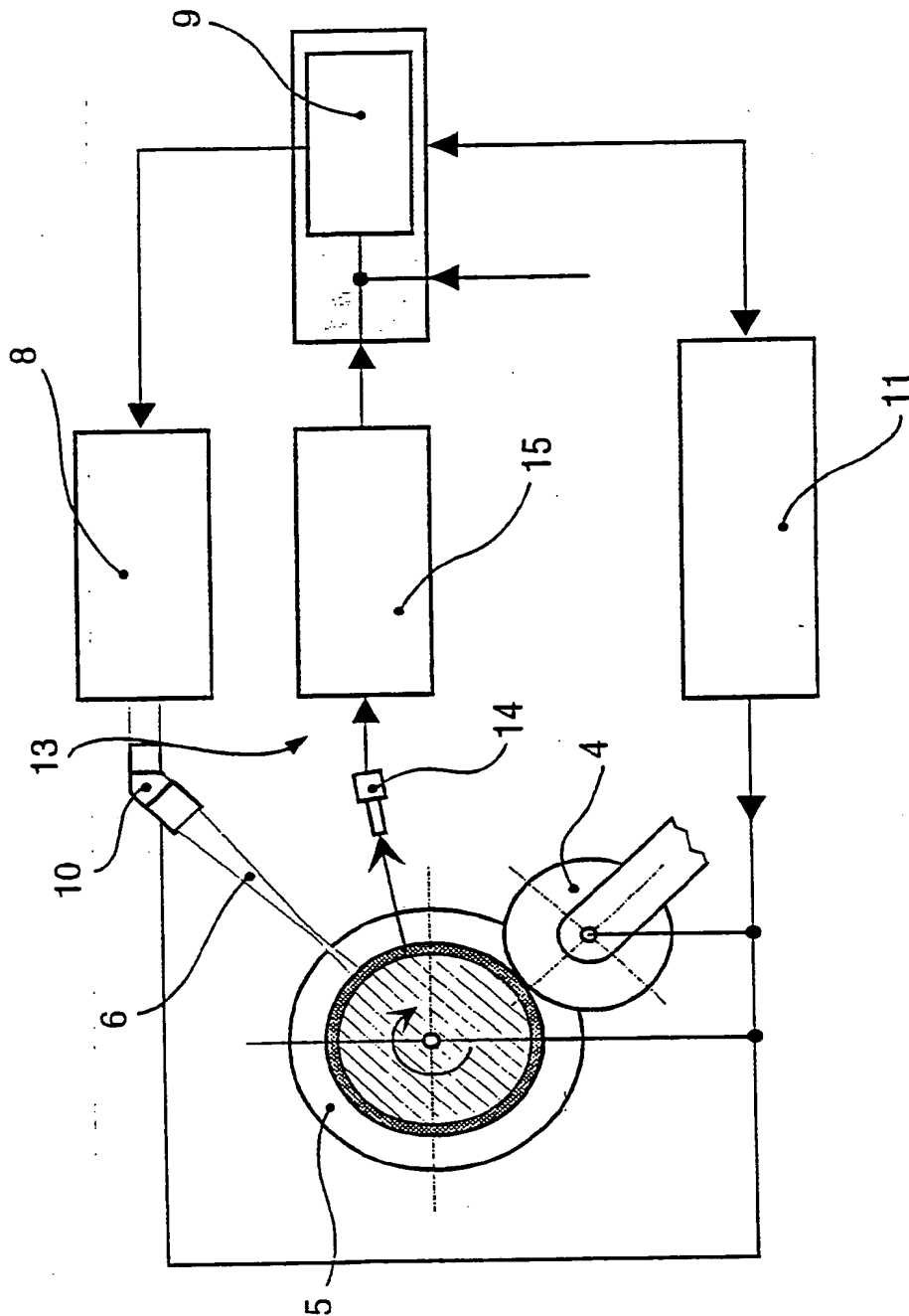


Fig. 7

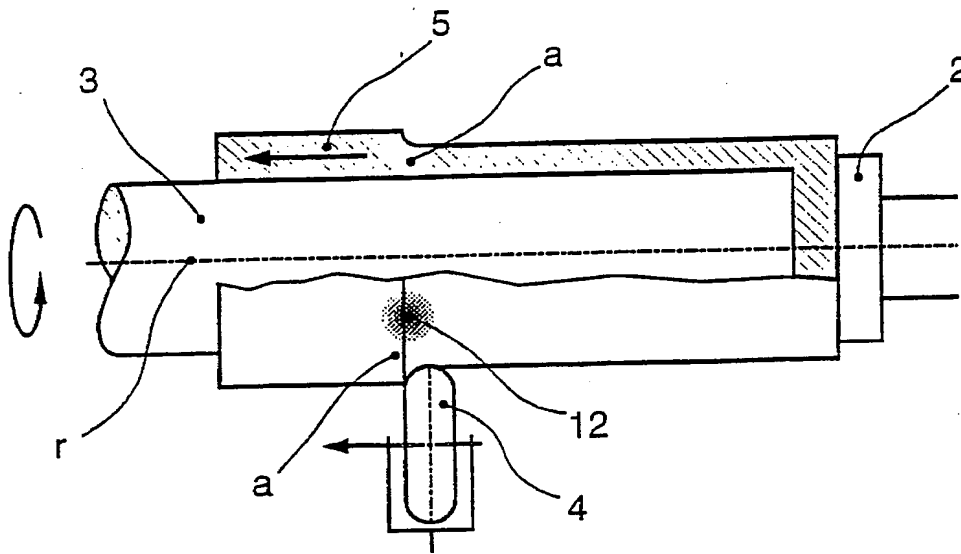


Fig. 8

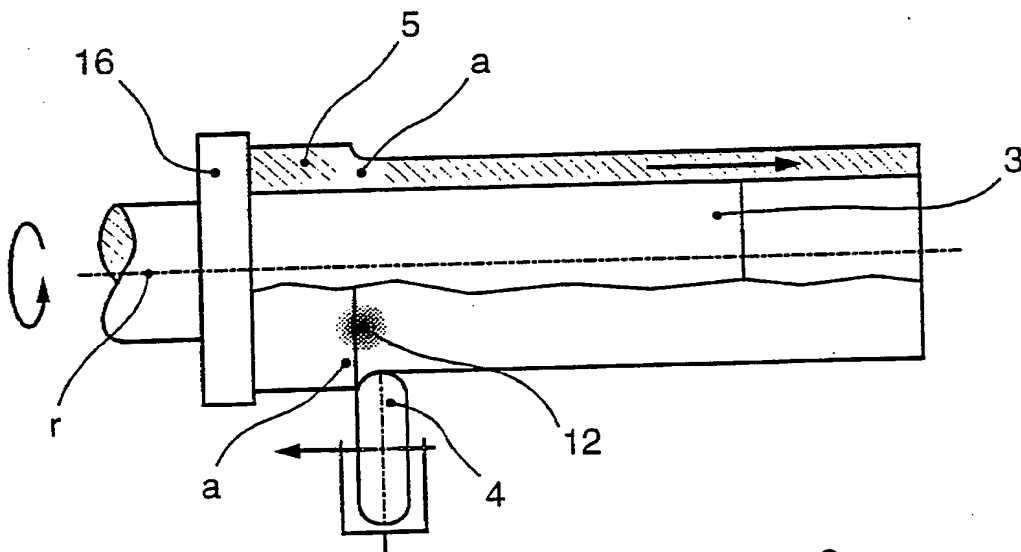


Fig. 9

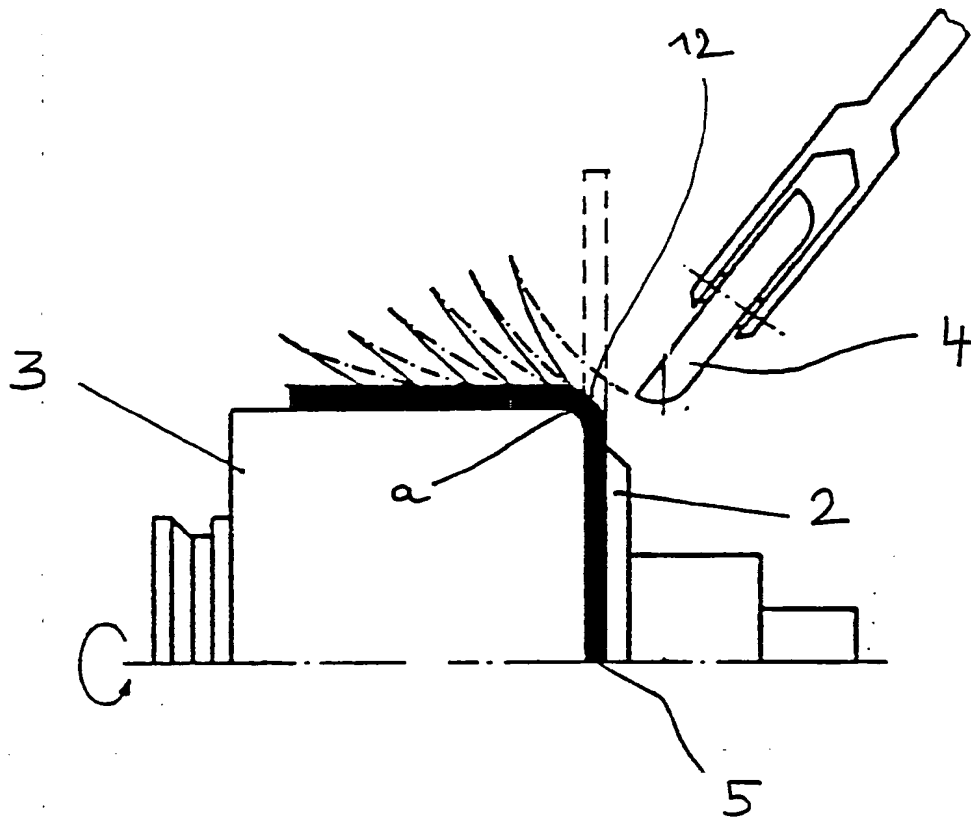


Fig. 10

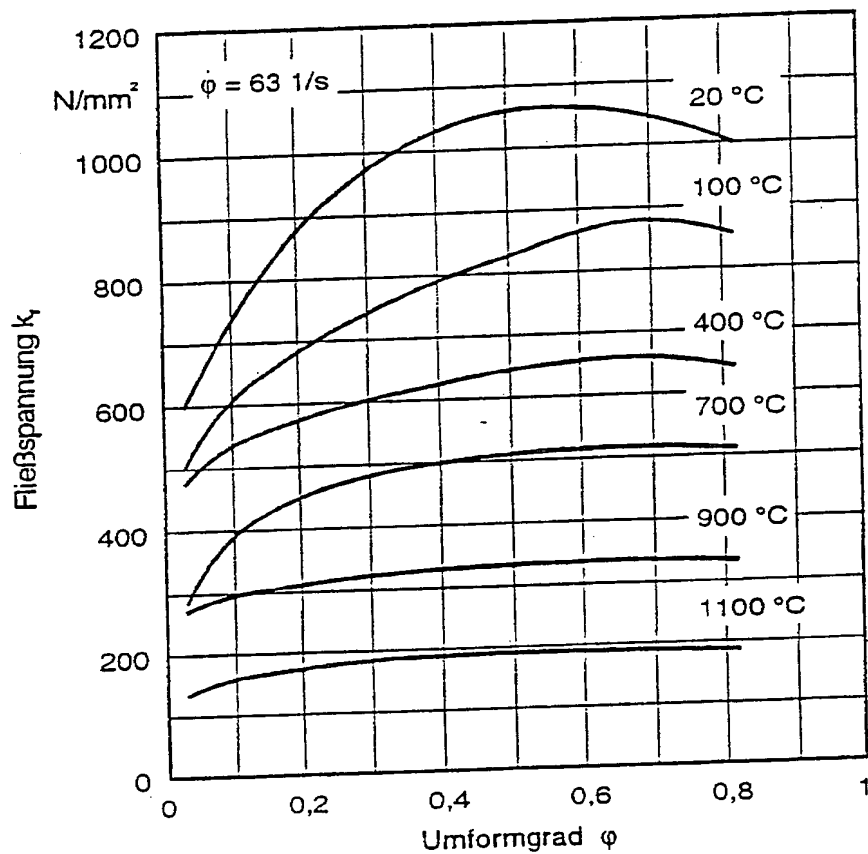


Fig. 11